

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



C1-16

Comité de Estudio C1 - Desarrollo de Sistemas y Economía

ESTABELECIMENTO DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIOS PARA PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

M.D.R. Pereira*
Cemig Distribuição
Brasil

M.H.M. Vale
LRC/UFMG
Brasil

B.E.D. Silva
Cemig Distribuição
Brasil

T.V. Menezes
Cemig Distribuição
Brasil

Resumo *– O artigo apresenta uma metodologia multicritérios utilizada em nova abordagem de planejamento da expansão do sistema elétrico da Cemig Distribuição que se caracteriza pelo tratamento simultâneo, georreferenciado e global de um grande volume de informações acerca do desempenho da rede elétrica. Esta nova metodologia visa garantir a avaliação integrada e padronizada dos principais parâmetros que influenciam o desempenho do sistema de distribuição, não só no que tange ao desempenho técnico, mas também a sustentabilidade do negócio distribuição, e para isto é definido o* ***Índice de Vulnerabilidade Sistêmica, o IVSis****. A abordagem diferencial e inovadora do indicador é que este se baseia em uma matriz de correlação entre os fatores de vulnerabilidade e seus possíveis impactos no negócio de distribuição. A metodologia proposta no artigo encontra-se implementada no sistema elétrico georreferenciado da Cemig Distribuição, onde foi cadastrado o diagnóstico do sistema elétrico de distribuição, considerando os parâmetros de desempenho avaliados. A aplicação em um sistema real e a análise dos resultados obtidos mostra que o IVSis é capaz de identificar e priorizar as áreas mais vulneráveis do sistema, considerado os fatores de vulnerabilidade ponderados, podendo ser utilizado como apoio às equipes de planejamento na tomada de decisão envolvida nos estudos e na aplicação de recursos a fim de garantir o melhor desempenho do sistema elétrico e a sustentabilidade do negócio distribuição.*

Palavras chave: Diagnóstico, Sistema Elétrico, Distribuição, Metodologia, Multicritérios Avaliação, Parâmetros Técnicos, Análise, Georreferenciamento, Planejamento, Integração.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de planejamento desenvolvidos na Cemig D, para a definição de obras, são elaborados de forma integrada entre as áreas de alta (34,5 kV a 161 kV) e média tensão (13,8 kV e 23 kV). Utilizam casos base de fluxo de potência para elaboração do diagnóstico do sistema, cujos principais parâmetros avaliados são: tensão, carregamento de transformadores, carregamento, perdas e queda de tensão em linhas de distribuição e alimentadores. São elaboradas alternativas para a solução dos problemas identificados, englobando obras de alta e média tensão. Ressalta-se que, para a elaboração do diagnóstico e simulação de alternativas de obras de alta tensão e média tensão, utilizam-se programas diferentes. Portanto, são gerados relatórios distintos, cuja interface, consolidação e conclusões são realizadas pelos profissionais envolvidos.

Após a definição do elenco de obras a serem implantadas e do montante financeiro disponível para investimento, o qual é finito, deve-se realizar a priorização das mesmas. Neste contexto, verifica-se que somente a avaliação do diagnóstico técnico utilizado não é suficiente para avaliar todas as variáveis que

(*) Endereço Av. Barbacena, n˚ 1200 – 8º Andar - Ala B2 – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG, – Brasil
Tel: (+55 31) 3506-4224 – Fax: (+55 31) 3506-2948 – Email: michele@cemig.com.br

influenciam o desempenho do sistema, além de não garantir uma priorização que atenda a todos os objetivos estratégicos da empresa. Faz-se necessário também avaliar os índices de qualidade, Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), a depreciação dos ativos, custos de operação e manutenção envolvidos e montantes de multas por descumprimentos das metas de qualidade. Estas informações são apuradas e armazenadas em bancos de dados distintos. Atualmente não existe uma metodologia de planejamento da expansão sistematizada que avalie conjuntamente esses parâmetros e que avalie o grau de influência das violações dos mesmos no desempenho do sistema. As informações do diagnóstico tradicional e as informações citadas acima estão inseridas em um único banco de dados georreferenciado. Neste cenário que se localiza o desenvolvimento deste trabalho.

2 OBJETIVO E METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

O objetivo deste trabalho é analisar e avaliar de forma empírica as informações contidas no diagnóstico integrado do sistema georreferenciado e propor uma metodologia multicritérios, para priorização dos problemas mais críticos para o negócio distribuição, através da ponderação de cada parâmetro avaliado, a fim de direcionar a aplicação dos recursos de investimento na Cemig Distribuição. Para implementar tal objetivo adotou-se como metodologia a comparação par a par por meio do preenchimento de uma matriz de comparabilidade para ponderar um parâmetro em relação ao outro, estabelecendo os pesos de cada um. Esta matriz foi preenchida por diversos profissionais das áreas de operação, manutenção, perdas e planejamento de média e alta tensão do sistema elétrico. A violação dos parâmetros foi pontuada e referenciada às subestações. Da análise de resultados foram identificadas as áreas mais vulneráveis do sistema elétrico que direcionam a atuação do planejamento do sistema elétrico.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPOSTA

3.1 Considerações Iniciais

Os Estudos de Planejamento da Expansão da Distribuição tratados neste artigo consideram o sistema de transmissão adequado do ponto de vista técnico e econômico, capaz de suprir satisfatoriamente a demanda da distribuidora e garantir tensões adequadas nos barramentos de fronteira.

3.2 Análise da Legislação Aplicável ao Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico

Este trabalho visa associar os resultados dos diagnósticos de alta tensão e média tensão, elaborados para subsidiar o planejamento da expansão do sistema, conforme preconizado no PRODIST – Procedimentos de Distribuição [1] ao sistema georreferenciado, também exigido por esta mesma legislação. Esta associação tem por objetivo identificar as regiões cujo atendimento está comprometido por violações dos parâmetros de desempenho do sistema elétrico. Ressalta-se que a metodologia proposta neste trabalho visa integrar as análises dos parâmetros elétricos do sistema de distribuição de alta e média tensão, os parâmetros de operação, manutenção e telecomunicações em uma única plataforma georreferenciada e determinar o grau de importância relativo de cada um deles no desempenho do sistema, ponderando as violações dos parâmetros conforme seu grau de impacto no desempenho do sistema e as referenciar a um ponto ou região, as chamadas **Áreas de Análise do Sistema Elétrico** e priorizar as suas **áreas mais vulneráveis**.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Análise dos Fatores de Vulnerabilidade do Sistema Elétrico

4.1.1 Identificação dos Fatores de Vulnerabilidade do Sistema Elétrico

Os fatores de vulnerabilidade são os parâmetros de desempenho considerados no diagnóstico integrado do sistema elétrico e são agrupados em parâmetros elétricos, de operação e manutenção e de telecomunicações. Esses são chamados de critérios no banco de dados georreferenciado e estão apresentados na Tabela I.

TABELA I. FATORES DE VULNERABILIDADE

	Critérios
O&M	DEC Estrutural de Alta Tensão
	Histórico DEC de alimentadores
	Compensações Financeiras dos alimentadores (DIC, FIC e DMIC)
	Custo de O&M de SE
	Custo de O&M de LD
	Depreciação de subestações
	Depreciação de linhas de distribuição
Telecom	Indices de Desempenho de Telecomunicações
	Custos de O&M de Telecomunicações
	Depreciação e Obsolescência do Sistema de Telecomunicações

	Critérios
Elétrico	Perdas ôhmicas em Linhas de Distribuição
	Níveis de Tensão Críticos em Subestações - DRC
	Níveis de Tensão Precários em Subestações - DRP
	Sobrecarga de Linhas de Distribuição
	Sobrecargas de Subestações (Sobrecarga Nominal)
	Sobrecargas de Subestações (Sobrecarga Admissível)
	Perdas ôhmicas em alimentadores
	Níveis de Tensão Críticos em alimentadores - DRC
	Níveis de Tensão Precários em alimentadores - DRP
	Sobrecarga em alimentadores
	Potência de Curto-Circuito na Barra de 13,8 kV em subestações
	Potência de Curto-Circuito na Rede de MT

4.1.2 Violação de Limites Técnicos e Impactos no Sistema

A violação dos limites dos parâmetros de desempenho, isto é, dos fatores de vulnerabilidade podem causar impactos financeiros, de segurança sistêmica ou na imagem da empresa perante os consumidores e acionistas. Os impactos financeiros são caracterizados pelo aumento das despesas operacionais, pagamento de multas ou perda de receitas. Os impactos de segurança estão relacionados à segurança de terceiros, de empregados, consumidores e dos próprios equipamentos. Os impactos técnicos se relacionam à capacidade do sistema em atender ao mercado com qualidade, não violando os indicadores estabelecidos.

4.1.3 Correlação entre Violação e Impacto

Não há estudos quantitativos que comprovem a correlação entre os fatores de vulnerabilidade e os impactos que a violação dos seus limites pode causar no negócio distribuição. Este trabalho realiza uma análise qualitativa de causa e efeito de cada parâmetro baseada na experiência, na observação, na legislação e na análise do processo de distribuição de energia, desde o relacionamento comercial até a operação do sistema elétrico.

O **DEC estrutural de alta tensão** é um índice que retrata o DEC esperado para uma determinada região em função da topologia, das características do sistema elétrico que a atende e do histórico de ocorrências, isto é, da taxa de falha dos equipamentos. O DEC estrutural elevado identifica áreas cuja probabilidade de ocorrências e não atendimento das metas do DEC é maior e, portanto, pode causar, dentre outros impactos: redução da confiabilidade; aumento do tempo e do número de interrupções do fornecimento de energia elétrica; aumento de despesas de equipe para restabelecimento do fornecimento; aumento no pagamento de compensações financeiras por violação dos indicadores de continuidade ANEEL; aumento de reclamações e despesas na central de atendimento a consumidores; redução nos índices de satisfação do consumidor; prejuízo à imagem da empresa; despesas associadas a esclarecimentos à população; redução do índice de reajuste tarifário que considera a melhoria dos índices de qualidade para cálculo do reajuste.

O **histórico de DEC** verifica a duração de interrupção equivalente por unidade consumidora. O DEC realizado depende das condições climáticas, das manutenções preventivas que podem afetar os índices em função dos desligamentos necessários para realização das mesmas e da política de renovação de ativos. Portanto, não há garantias de repetição dos índices, mas as análises mostram a tendência do indicador e orienta as ações de manutenção corretiva e aplicação de recursos. O aumento do DEC realizado pode causar os mesmos impactos citados para o DEC estrutural, com exceção da redução da confiabilidade.

As **compensações financeiras** pagas aos consumidores por descumprimento dos índices de qualidade causam aumento das despesas operacionais e podem originar multas regulatórias.

Os c**ustos de operação e manutenção (O&M) de subestações (SE), linhas de distribuição (LD) e sistemas de telecomunicações** compõem os custos operacionais das distribuidoras que são remunerados via

tarifa. A ANEEL possui uma metodologia que define qual o valor máximo a ser pago a cada distribuidora de acordo com seu porte e características físicas. O aumento de tais custos pode contribuir para o aumento de despesas operacionais a ponto de extrapolar os limites cobertos pela tarifa no período tarifário, gerando prejuízos financeiros à distribuidora, devido aos recursos gastos não serem restituídos ao caixa da empresa.

A **depreciação de subestações, linhas de distribuição e sistemas de telecomunicações** é utilizada no cálculo da tarifa de fornecimento de energia. Dito isto, pode-se verificar que taxas de depreciação elevadas causam redução da base de remuneração regulatória líquida- BRRL e do valor da tarifa definida na revisão tarifária, com consequente redução da receita da distribuidora. Podem também causar aumento de despesas de operação e manutenção, resultando valores que extrapolam os limites cobertos pela tarifa no período tarifário, aumento da taxa de falhas de equipamentos e piora dos índices de continuidade, pois quanto mais antigos os equipamentos, maior a probabilidade de falhas e necessidade de intervenção.

O **índice de desempenho do sistema de telecomunicações** contribui diretamente para o desempenho do sistema elétrico, uma vez que a operação em tempo real atualmente é realizada via telecomando. Portanto o baixo desempenho destes sistemas pode causar aumento do tempo e do número de interrupção do fornecimento de energia elétrica e, consequentemente, aumento no pagamento de compensações por violação dos indicadores de continuidade da ANEEL, podendo gerar redução do índice de reajuste tarifário. Verifica-se aumento de despesas com a equipe para restabelecimento do fornecimento, pois, em caso de falha na operação via telecomando, é necessário o acionamento de equipes locais para a realização de manobras no sistema. Há também aumento de reclamações e despesas na Central de Atendimento a Consumidores (CAC), redução nos índices de satisfação do consumidor, com prejuízo à imagem da empresa e aumento de despesas associadas para esclarecimentos à população.

As **perdas ôhmicas em linhas de distribuição e alimentadores** são consideradas perdas técnicas pela ANEEL. Possuem uma meta estipulada e são remuneradas via tarifa até o limite da meta estabelecida pelo órgão regulador. O crescimento das perdas ôhmicas causa elevação de despesas operacionais acima do limite tarifário, pois os custos da energia perdida acima do limite coberto pela tarifa são computados como despesas operacionais. Aumentam o risco de multa por descumprimento das metas.

Níveis de tensão precários e críticos em subestações e alimentadores podem causar os mesmos impactos, variando a intensidade. Isto é, os impactos dos níveis de tensão críticos são mais severos que os níveis de tensão precários e podem causar redução da energia faturada, aumento de reclamações e despesas na CAC e, aumento de despesas com tratamento de reclamações na área de operação e na área de serviço de campo. Adicionalmente, podem ocorrer os seguintes impactos: aumento de compensações financeiras por descumprimento de requisito normativo de valores de tensão de atendimento; aumento do risco de multas por descumprimento de prazos de regularização; redução no índice de satisfação do consumidor; prejuízo à imagem da empresa e aumento das despesas associadas para esclarecimentos à população.

A **sobrecarga de linhas de distribuição e alimentadores** pode causar os seguintes impactos: restrição de atendimento de novas cargas implicando receita realizada inferior à projetada; acidente com terceiros; redução do tempo de vida útil do ativo implicando antecipação de investimentos para substituição de ativos não acobertados na tarifa; aumento de falha por danos no equipamento; aumento de pagamento de compensações por violação dos indicadores de continuidade ANEEL; aumento de reclamações e despesas na CAC; redução nos índices de satisfação do consumidor; prejuízo à imagem da empresa e aumento das despesas associadas para esclarecimentos à população.
A **sobrecarga em subestação** pode causar os mesmos impactos citados para a sobrecarga das linhas de distribuição com exceção dos acidentes com terceiros, pois as subestações possuem restrição de acesso.

A **potência de curto-circuito nas barras de 13,8 kV** nas subestações em caso de valores muito elevados pode causar os seguintes impactos: aumentar os riscos de avaria em equipamentos implicando a antecipação de investimentos para substituição de ativos não acobertados na tarifa; acidente com terceiros; prejuízo à imagem da empresa e aumento das despesas associadas para esclarecimentos à população; descoordenação da proteção e aumento no tempo e número de consumidores interrompidos, implicando aumento de pagamento de compensações financeiras relacionadas aos DIC e FIC.

4.2 Definição e Caracterização de Áreas Críticas de Desempenho do Sistema Elétrico

Cada fator de vulnerabilidade é denominado critério no sistema georreferenciado. Como cada critério possui métrica diferente, foi utilizada uma técnica de normalização (p.u.) para torná-los comparáveis. Para isso são estabelecidos um limite máximo e um limite mínimo para cada critério, baseados na análise do banco de dados existente.

Definem-se como **Áreas Críticas de Desempenho** do sistema aquelas que possuem o maior número de violações, isto é, onde se encontra violação do maior número de parâmetros de desempenho do sistema elétrico, ou seja, dos fatores de vulnerabilidade.

Após inserir os dados relacionados aos parâmetros no sistema georreferenciado – Geomedia pode-se verificar as violações de cada parâmetro separadamente em camadas. O diagnóstico realizado através da análise desassociada das violações é denominado Diagnóstico Nível 1. Na Fig.1 estão representados os dados referentes aos níveis de tensão de subestações da Cemig D.

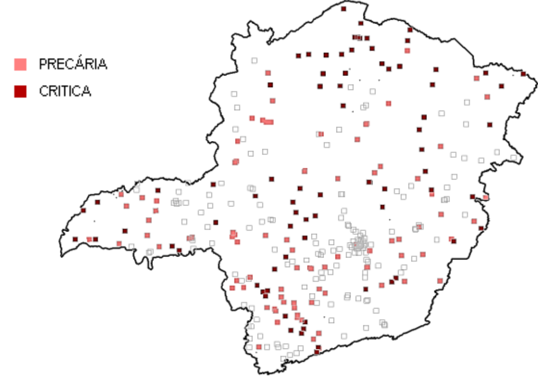


Fig. 1. Subestações com Violação Prevista nos Níveis de Tensão (2018).

É importante ressaltar que esse diagnóstico constitui a base de informações a partir da qual é desenvolvida a metodologia proposta que define um índice calculado a partir da ponderação dos fatores de vulnerabilidade, conforme o grau de impacto de suas violações no desempenho do sistema elétrico, visando priorizar as áreas de desempenho crítico no planejamento. Tal índice, denominado Índice de Vulnerabilidade Sistêmica, IVSis, é apresentado a seguir.

4.3 Índice de Vulnerabilidade Sistêmica - IVSis

A metodologia de comparação par a par foi escolhida para cálculo do IVSis, por ser uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão em problemas complexos, que envolvem muitos critérios de avaliação, de fácil manuseio, não necessita de software ou programas especiais para utilização. Também proporciona transparência na avaliação e considera aspectos subjetivos. Esta metodologia se baseia na pergunta: Qual é a importância do critério 1 em relação ao critério 2? Para isso foi elaborada uma matriz quadrada onde é possível comparar um critério em relação a todos os outros. Parte da matriz pode ser vista na Tabela II.

TABELA II. DETALHE DA TABELA DE COMPARAÇÃO PAR A PAR

	Critérios	Perdas ôhmicas em Linhas de Distribuição	Níveis de Tensão Críticos em Subestações - DRC	Níveis de Tensão Precários em Subestações - DRP	Sobrecarga de Linhas de Distribuição
Elétrico	Perdas ôhmicas em Linhas de Distribuição				
	Níveis de Tensão Críticos em Subestações - DRC				
	Níveis de Tensão Precários em Subestações - DRP				
	Sobrecarga de Linhas de Distribuição				
	Sobrecargas de Subestações (Sobrecarga Nominal)				
	Sobrecargas de Subestações (Sobrecarga Admissível)				
	Perdas ôhmicas em alimentadores				

As comparações par a par, expressas por meio da pergunta acima, são convertidas em valores numéricos usando uma escala para julgamentos comparativos, onde a quantificação dos julgamentos é feita utilizando-se uma escala de valores que varia de 0,1 a 10, conforme Tabela III.

TABELA III. ESCALA PARA JULGAMENTOS COMPARATIVOS

10	Muito mais importante
5	Mais importante
1	Igualmente importante
0,2	Menos Importante
0,1	Muito menos importante

Esta comparação par a par foi realizada por 41 profissionais das áreas planejamento da expansão, planejamento da operação, planejamento da manutenção, perdas, operação em tempo real e gestão.

4.4 Metodologia para Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Sistêmico - IVSis

O método baseia-se na comparação entre pares de critérios e na construção de uma série de matrizes quadradas, onde o número na linha i e na coluna j dá a importância do critério Ci em relação a Cj, como se pode observar na forma matricial indicada na equação (1). Nessa matriz, o termo “aij” indica o julgamento quantificado do par de critérios (Ci, Cj) sendo “a” o valor da intensidade de importância. As seguintes condições devem ser atendidas:

- se aij = a, então aji = 1/a;
- se Ci é julgado como de igual importância relativa a Cj, então aij = 1, aji = 1 e aii = 1, para todo i.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & 1/a_{3j} & \dots & 1 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

A formulação matemática utilizada para o cálculo do peso é simples, sendo o valor total do critério, a soma dos valores que compõem a linha da matriz referente ao mesmo. O peso do critério consiste no cálculo da proporção de cada elemento em relação à soma total para cada planilha preenchida. Para determinar os pesos de cada critério realiza-se novamente o processo descrito, somam-se os valores totais dos critérios de cada uma das quarenta e uma planilhas preenchidas e calcula-se o peso do critério através da proporção de cada elemento em relação à soma total. Na Fig. 2 é mostrado o ranking dos critérios e seus respectivos pesos.

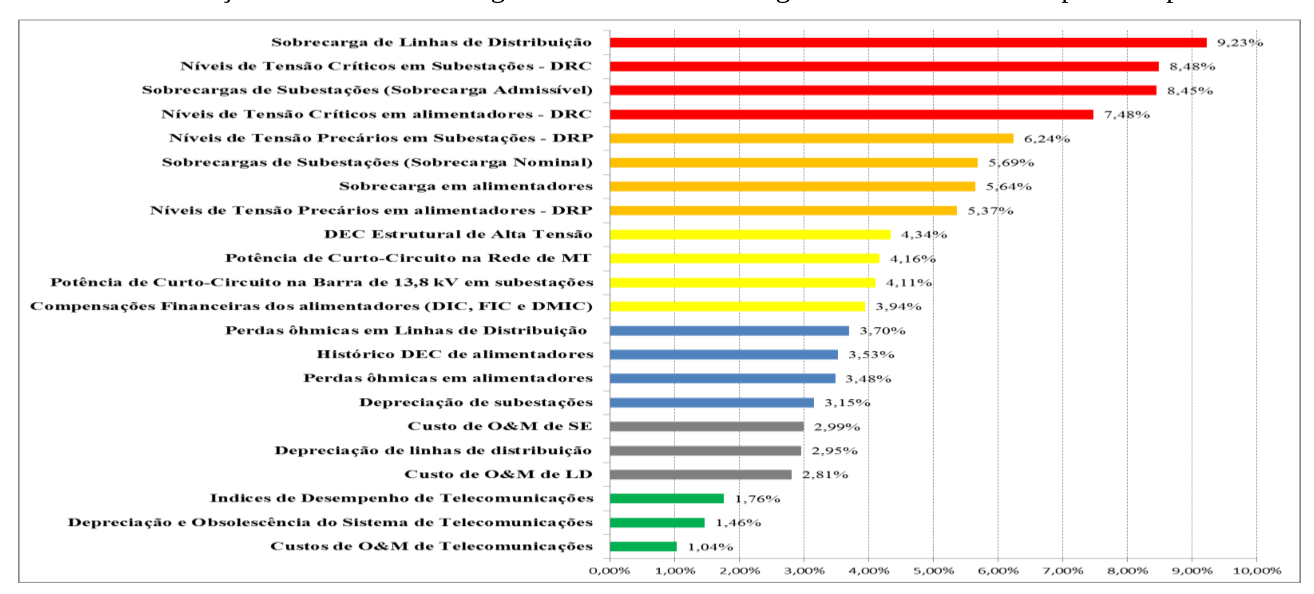


Fig. 2. *Ranking* de critérios

4.4.1 Definição do Índice IVSis

O Índice de Vulnerabilidade Sistêmico, IVSis, representa a violação de todos os fatores de vulnerabilidade relativos a uma determinada região, ponderados de acordo com seu grau de impacto no desempenho do sistema elétrico e no negócio distribuição.

Como apresentado no item 4.2, foram estabelecidos limites máximos e mínimos para cada critério, conforme análise do banco de dados, a fim de normalizar tais dados e torná-los comparáveis e passíveis de agrupamento. A normalização do critério, conforme localização da violação na faixa de normalização foi feita utilizando regra de três e a este valor chamou-se Nota. O Peso é a ponderação aplicada aos critérios conforme seu grau de importância e impacto no desempenho do sistema elétrico. O valor da Nota x Peso denomina-se Pontos.

Calculam-se os pontos para cada violação dos fatores de vulnerabilidade verificados e cadastrados no Diagnóstico Integrado do Sistema Elétrico georreferenciado, o Diagnóstico Nível 1.

O Índice de Vulnerabilidade Sistêmico é definido pela expressão (2).

$$IVSis = \Sigma \text{ Pontos} = \Sigma \text{ Nota x Peso} \qquad (2)$$

Depois de calculado, o índice é referenciado à subestação fonte e, assim, é atribuído à região atendida por aquela subestação. A partir disso é possível priorizar as áreas com pior desempenho de acordo o índice aplicado.

4.4.2 Processo de Simulação e Resultado da Simulação no Sistema Real da Cemig D

Foram elaborados algoritmos que fazem os cálculos descritos no item 4.4 e carregam os dados automaticamente no Geomedia. Os pesos determinados na elaboração deste trabalho, apresentados na Fig. 2, foram cadastrados no Geomedia. Criou-se uma tabela de apuração onde se pode verificar qual a pontuação de cada subestação em relação a todos os critérios. Ressalta-se que a subestação só é listada caso haja alguma violação, assim como somente são listados os critérios que apresentam violação de limites.

A representação do IVSis – Índice de Vulnerabilidade Sistêmica Total no mapa georreferenciado está apresentado na Fig. 3.

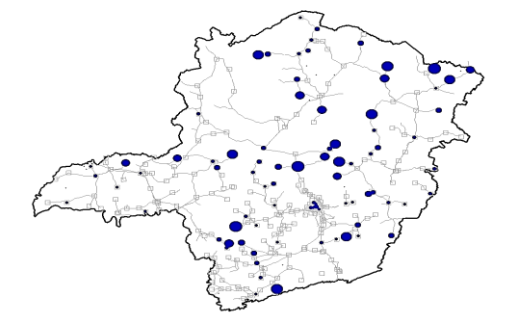


Fig. 3. Priorização de Subestações e suas Áreas de Análises

Quanto maior o índice, maior o círculo. Pode-se representar o IVSis da média tensão, o IVSis de Alta tensão ou, IVSIs Total, dependendo da análise que se deseja realizar. Ressalta–se que o raio de abrangência em torno da região considerada crítica deve ser definido pelo planejador. Recomenda-se que, no mínimo, deve abranger a área atendida pelo sistema de média tensão oriundo da SE de referência.

4.5 Análise de resultados

Os resultados alcançados através da priorização das Áreas Críticas de Desempenho utilizando o índice IVSis está coerente com a experiência dos profissionais das áreas de planejamento, operação e manutenção e com a realidade atual do sistema elétrico e há um consenso em relação às vinte mais críticas apresentadas na Fig. 4.

Nas simulações as regiões norte e leste apresentaram maior número de regiões de desempenho crítico. Os resultados mostram que as áreas consideradas mais vulneráveis estão relacionadas a sobrecargas em linhas

de distribuição e sobrecarga da capacidade admissível de subestações, o que se justifica, pois são questões que comprometem a segurança de pessoas e equipamentos, aumentando os riscos na operação do sistema elétrico e a exposição financeira da empresa. As áreas que se mostraram menos vulneráveis estão associadas à elevada depreciação de ativos. Neste caso também se considera o resultado coerente, uma vez que a depreciação em si, muitas vezes não causa baixo desempenho do sistema e, em muitos casos, não corresponde a elevados custos de manutencão.

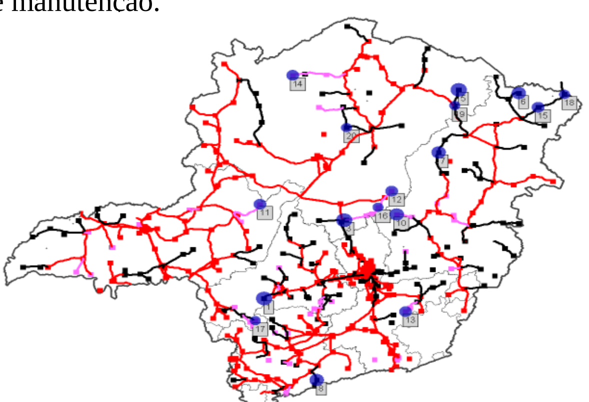


Fig. 4. Nova Priorização de Desempenho Cemig D com o IVsis

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma metodologia multicritérios utilizada em uma nova abordagem de planejamento da expansão do sistema elétrico da Cemig Distribuição. O tratamento simultâneo, georreferenciado e global, do desempenho do sistema elétrico através da aplicação do **Índice de Vulnerabilidade Sistêmica, o IVSis, agrega valor e novos resultados e decisões no processo de planejamento e definição de investimentos.**

Após análises dos resultados verifica-se que, devido à formulação matemática utilizada para cálculo do índice IVSis, há possibilidade de alguma região se encontrar em situação realmente crítica com relação a algum critério específico e não ser priorizada, caso não apresente violação de outros fatores de vulnerabilidade. Este fato resulta do efeito de mascaramento decorrente da aplicação de metodologias que aplicam somatória de valores. Para a solução deste problema, recomenda-se que a análise seja realizada utilizando o IVSis Total e se estabeleça uma priorização das áreas mais vulneráveis. Posteriormente, a análise deve ser realizada utilizando também o IVSis de Média Tensão e o IVSis de Alta Tensão, separadamente, para que se possa comparar as priorizações e avaliar se há alguma área que deve ser tratada, apesar de não estar contemplada na priorização global.

A aplicação do IVSis no banco de dados georreferenciado da Cemig D possibilita a localização das áreas de desempenho crítico no estado de Minas Gerais. Portanto, é capaz de identificar e priorizar as áreas mais vulneráveis do sistema, considerando todos os fatores de vulnerabilidade ponderados. A análise dos resultados obtidos mostra que a metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada como apoio às equipes de planejamento na tomada de decisão envolvida nos estudos e na aplicação de recursos a fim de garantir o melhor desempenho do sistema elétrico e a sustentabilidade do negócio.

A apresentação, análise e validação dos resultados da aplicação do Índice de Vulnerabilidade Sistêmico no sistema elétrico da Cemig D corrobora a Metodologia Multicritérios para Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico proposta neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

[1] ANEEL, (2013). Prodist– Procedimentos de Distribuição, [Online]. Disponível: http://www.aneel.gov.br.
[2] Pereira, M.D.R, "Estabelecimento de Metodologia Multicritérios para Planejamento da Expansão de Sistemas de Distribuição": Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Julho, 2014.